

造纸机的电气传动系统设计

摘要

造纸术是我国古代四大发明之一，有着悠久的文明历史。随着日常生活对纸张品质要求的不断提高，造纸机也正向着大型、高速、高效的方向迅速发展，这就对造纸机的电气传动系统提出了更加严格的要求。面对日趋激烈的市场竞争，我国造纸业已经步入“质量效益主导型”的新阶段，其中造纸机的电气传动控制系统作为保障纸张质量的关键技术，已经引起了我国造纸企业的高度重视。首先，本文对造纸机电rical传动系统的国内外发展现状做了简要的介绍，并介绍了造纸机的机械结构以及造纸的工艺流程。接着，详细的分析了速度链、负荷分配以及纸幅张力等影响电气传动控制系统的诸多因素，并给出了造纸机对电气传动控制系统的基本要求。通过对电气传动控制系统工艺的进一步分析，计算了影响电气传动品质的相关参数。同时给出了速度链、动态负荷、张力需求的计算公式以及电机电磁转矩的离散化方程。最后，根据交流变频调速系统的应用，给出了造纸机在实际应用中变频器的相关参数及变频器的选型并对造纸机电rical传动控制系统进行了合理的设计。

关键词：造纸机；电气传动控制；速度链；张力控制；交流变频调速；变频器

THE DESIGN OF PAPER MACHINE ELECTRICAL DRIVING SYSTEM

ABSTRACT

Paper-making technique is one of ancient China's four great inventions, has a long history of civilization. With the increasing demand for paper quality, paper machine towards the development of large-scale, high-speed, efficient direction, which also put forward higher requirements for paper machine control system. With increasingly fierce market competition, Chinese paper industry has started to enter into a new development stage of "quality and efficiency-oriented". And the paper machine electrical driving control as the paper quality protection technology, has been widely favored by the paper companies at home. First, the article made a presentation on the paper machine control system development in the world. At the same time, introduces the mechanical structure and the technological process of papermaking. Then analyzed the speed chain, load distribution and paper tension on the driving control system and many factors of the influence of the electrical drive control system, and give the basic requirements of the electric drive control system. In this thesis analyzed the theoretical transmission parameters of the driving system, calculated all the relevant factors affecting the transmission quality to achieve a good control effect. At the same time, the speed link, the dynamic load and the tension demand are calculated, and the electromagnetic torque of the motor is discretized. Finally, according to the application of AC variable frequency speed control system, the correlation parameters of the inverter and the converter selection of the inverter in practical application are given. And the paper makes a reasonable design for the

electric drive control system of paper machine.

Keywords: Paper machine; Electric drive control; Speed chain; Tension control; AC frequency converter; Frequency converter

目录

摘要	I
ABSTRACT	II
1 绪论	1
1.1 课题研究背景	1
1.2 造纸机电气传动控制系统国内外的研究现状及已有成果	2
1.3 本文主要工作	3
2 造纸机机械结构及造纸工艺流程	5
2.1 造纸机机械结构	5
2.1.1 造纸机网部	6
2.1.2 造纸机压榨部	6
2.1.3 造纸机压光部	6
2.1.4 造纸机干燥部和卷取部	6
2.2 造纸工艺流程	7
2.3 本章小结	7
3 造纸机电气传动控制策略分析	8
3.1 造纸机电气传动概述	8
3.1.1 造纸机电气传动控制系统的基本要求	8
3.1.2 造纸机传动功率计算	8
3.1.3 造纸机生产能力计算	9
3.2 造纸机电气传动系统控制策略分析	9
3.2.1 速度链控制	10
3.2.2 负荷分配控制	10
3.2.3 纸幅张力控制	11
3.3 造纸机电气传动控制工作原理图	12
3.4 本章小结	14
4 造纸机电气传动控制系统参数分析	15
4.1 纸辊电机电磁转矩计算	15
4.2 纸辊卷径计算分析	16
4.3 速度链计算分析	16
4.4 纸幅张力值的估算与分析	17
4.4.1 基于纸辊参数的纸幅实际张力估算	17
4.4.2 张力值的估算	18
4.4.3 张力传感器张力值检测	18

4.5 本章小结	19
5 造纸机电气传动系统的设计	21
5.1 造纸机电气传动系统设计参数及计算依据	21
5.1.1 造纸机传动系统技术参数	21
5.1.2 造纸机电气传动系统纸辊电机设备参数	21
5.1.3 纸辊电机转速、功率的计算及选择	22
5.2 造纸机电气传动系统的硬件配置	23
5.2.1 交流变频调速基本原理	23
5.2.2 ACS800 变频器性能	24
5.2.3 ACS800 变频器主要参数设置	25
5.2.4 变频器的容量选择	26
5.3 造纸机电气传动系统控制方案设计	27
5.3.1 电气传动控制系统的整体结构	27
5.3.2 纸辊电机的控制策略	28
5.4 造纸机电气传动系统软件选型	30
5.4.1 控制系统概述	30
5.4.2 S7-400H 冗余系统	30
5.4.3 过程设备管理	30
5.5 本章小结	31
结论	32
致谢	33
参考文献	34

1 绪论

1.1 课题研究背景

随着全球造纸业及其相关行业的快速发展，人们不仅对纸张质量要求越来越严格，同时对纸张依赖性也变的越来越强。尤其是近几年，造纸业已经成为国际化程度非常高的行业之一，一个国家各类纸张的消费水平，在某种程度上标志了这个国家的文明程度。我国现在仍是个造纸产业的大国，远远不是个造纸产业的强国，与造纸产业强国相比，我国造纸业还有相当大的差距。同时我国的造纸业面临着很大的困难，即造纸业一方面要实现“十二五”期间低污染、低消耗、低排放、大量推广先进造纸技术与造纸装备以及提高造纸业自动化技术水平的目标；另一方面正遭遇着非常严峻的挑战，像国际纸业（International Paper）、斯道拉恩索（Stora Enso）、芬欧汇川纸业（UPM）等超级造纸业集团在我国都有造纸业投资和发展的规划。

在造纸业中，起着保障纸张最终品质的重要联合装备是造纸机（Paper Machine），它可以把符合造纸特性的纸料纤维悬浮液经滤网成形、机械挤压脱水、烘缸干燥、表面施胶、压光机压光、卷纸机卷取等过程抄制成成品纸幅，在此过程中它不仅要保证纸品优质性，还要满足抄纸生产运行的连续性、高效性及可控性。然而，由于造纸机实际抄纸运行工况复杂，工作车速波动控制要求非常严格，速度非常低就出现纸张严重窜边；速度非常高就出现纸张的残余应力过大而使纸张损坏纸边或断头。因此，造纸机若想制造出质量合格的成品，其必须拥有良好的电气传动控制系统，做到合理、高效地修正纸张实时线速度、纸辊电机实时转矩及纸幅实时张力等参数于相应的设定值区间内，进而保障优质的纸张形态。

目前，为了设计出适用于制造不同纸种的造纸机电气传动控制系统，市面上已经出现和利时造纸机电气传动控制系统、ABB 造纸机电气传动控制系统、西门子造纸机电气传动控制系统以及上海华章电气造纸机电气传动控制系统等多个现代造纸机电气传动控制系统，其中以西门子造纸机电气传动控制系统最为常见，本课题也主要以国内西门子高速造纸机电气传动控制系统为研究和设计的对象。图 1.1 所示为某 5800/1600 国内西 门 子 造 纸 机 电 气 传 动 控 制 系 统 的 运 行 现 场 。



图 1.1 5800/1600 西门子造纸机电气传动控制系统运行现场

1.2 造纸机电气传动控制系统国内外的研究现状及已有成果

国外的造纸业强国对造纸机系统的研究已经取得了丰硕的成果，尤其是大大提升了造纸机电气传动控制系统整体自动化水平，包括：操作更加方便简洁，适用于 100 多个纸种，实现了造纸、成本调控动作过程的全自动化，而且整个设计车速也已经超过 2000m/min，工作车速也超过了 1500m/min。并且在造纸机电气传动控制领域，国外各大电气传动集团公司已经设计出了用于造纸机电气传动控制的软件和硬件，如：西门子造纸机电气传动控制系统、ABB 造纸机电气传动控制系统及分别针对它们最典型的西门子公司 6SE70 系列交流变频器，ABB 公司的 ACS800 交流调速变频器。可以看出这些国外造纸机电气传动控制系统不但有自己的电机交流变频调速装置，还有针对性很强的系统专用控制面板或软件系统。

造纸在我国拥有悠久的历史，我国也是一个造纸大国，造纸工业在国民经济中所占的地位非常重要。目前，我国造纸工业的主要特点是：造纸企业数目众多，但普遍规模较小，并且所生产纸张品种单一，技术含量较低，自动化水平较低，污染也较为严重。据统计，我国的中型造纸企业大概有 3000 多家，这些造纸企业大多使用的都是低速造纸机，所谓低速造纸机指的是车速在 300m/min 以下的造纸机，并且这些造纸机控制系统大多采用的是开环控制系统；对于车速在 300m/min 至 550m/min 之间的中速造纸机而言，则经常会出现速度链同步不理想以及断纸等生产事故，而且均没有考虑故障诊断和容错控制等问题，极易导致误停车，造成生产事故，使企业损失重大。造纸机市场竞争

激烈，国内该方面研发实力又落后于国外，因此必须加快研制高档造纸机的速度，同时逐步完善中档造纸机的控制系统，争取尽快扩大国内造纸机械的市场占用率。

一直以来，直流调速系统凭借其优良的调速性能以及负载率大等优点在造纸机传动系统中的应用占据着很大的比例。然而，直流调速系统也存在着很多缺点，比如：直流电动机的成本比较高，电刷维护困难，有些场合（如防爆、防腐蚀、防潮等场所）不能使用等等。随着计算机技术、电力电子技术、传感器技术以及智能控制理论的逐步完善和快速发展，交流变频调速系统在各工业领域的应用已经越来越广泛。交流变频调速与直流调速系统相比，其具有容量大、维护方便、节约能耗以及价格较低等优点。现在变频调速技术已经较为成熟，使交流调速系统也拥有了调速性能好、过载力矩和起动力矩大、启动平滑等等优点，已经逐渐取代了直流调速系统。另外，交流调速系统还具有如下优点：

- （1）使用场合比直流调速系统更广泛。
- （2）安装维护方便，能使用标准化的电机电缆。
- （3）电动机的正反转控制变得更简单。
- （4）避免了直流电动机的电刷粉尘对生产过程的影响。

近年来，采用可编程序控制器（PLC）结合现场总线技术来实现多台电动机的变频调速同步控制系统，已经成为国内外研究造纸机自动控制系统的一个推荐方案。从以上的分析可以看出，在现阶段，造纸机电气传动自动控制系统的研究对于我国造纸业的发展有着非常重要的理论和实践意义。

1.3 本文主要工作

通过对国外高速造纸机电气传动控制系统的研究，本文设计了国产高速造纸机电气传动控制系统，优化了造纸机电气传动控制策略并对国产高速造纸机高速运行时的关键参数进行了分析与设计，由实际造纸机电气传动控制工程项目检验了理论研究的成果和 PLC 软件控制算法的正确性。具体进行的主要工作如下：

- （1）为了获得良好的抄纸纸页，进行了造纸机电气传动控制策略设计。
- （2）造纸机通常运行在高速的状态下，且其工况会经常变化，其系统参数化分析就必然显得格外重要，本文对速度、负荷、张力等参数进行了计算和优化分析。

（3）本文具体的进行了造纸机电气传动控制系统的设计，包括系统硬件的配置、软件的选型、变频器的参数设置以及选型。特别是进行了冗余控制设计，设备过程管理（ PDM ） 设计 等 。

2 造纸机机械结构及造纸工艺流程

2.1 造纸机机械结构

造纸机（paper machine）是纸张抄造的联合装备，从第一台造纸机 1803 年问世至今，造纸机整体的机械结构在逐渐的完善，并有了固定的造纸工业技术规范，即整个抄纸过程由湿部和干部构成，湿部包括：浆料流送装置（流浆箱）、网部（成形部）以及压榨部；干部包括：干燥部、涂布部、压光部以及卷纸部。而现代造纸机的机械结构对于生产不一样的纸种必须用不同的机械结构形式，即在于不一样的网部（成形部）设计、压榨部设计、干燥部设计。如图 2.1 所示为造纸机机械结构示意图。

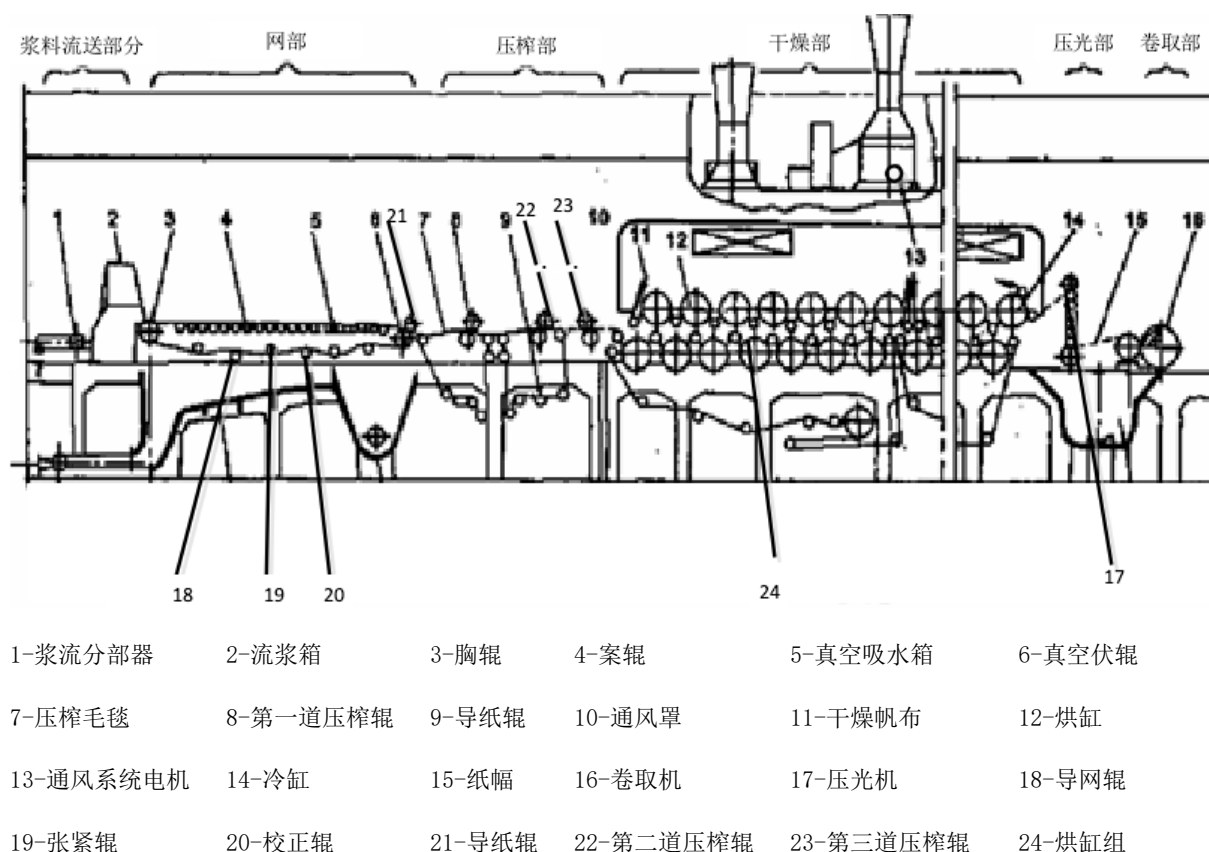


图 2.1 造纸机机械结构

2.1.1 造纸机网部

造纸机网部又称成形部，是纸浆纤维脱水成湿纸幅的重要分部间，其机械结构主要由成型网、胸辊、案辊、吸水箱、伏辊等重要成形部件组成，此外，还有成型网网案的支撑机构、驱动机构、张紧机构、校正机构、舒展机构和清洗的辅助机构和抄纸中的操纵控制机构。

2.1.2 造纸机压榨部

对成形后的湿纸页以加压的方式进一步脱水。它由辊面硬和软的两个辊子，如石辊和胶辊相配组成一组压榨，并分别由各自电机独立驱动，在造纸机电气传动控制系统里，每组压榨上辊石辊和压榨下辊胶辊均为主传动点。

2.1.3 造纸机压光部

为了使抄纸纸页有良好的光泽度与平滑度，纸页的厚度必须得到均匀的一致性控制，即纸页必须进行多重压光整饰处理。软压光机与压光机就是能实现上述功能效果的技术装置，压光机机械结构通常有 3~10 个辊筒，其中 2~3 个为造纸机电气传动控制系统主传动点。

2.1.4 造纸机干燥部和卷取部

造纸机干燥部的机械结构由多组烘缸构成，并采用了双列的烘缸结构形式，上下两层烘缸均配置有干毯，干燥部的最后，通常配置有 1~2 个冷缸，使水气能在冷缸面上凝聚。

造纸机卷取部的机械结构主要是由卷纸机（复卷机）组成，它可以靠卷纸辊的自身重量及冷缸转动的摩擦力将压光机整饰好的成品纸页卷曲成为筒体。在造纸机电气传动控制系统中，卷纸机的卷纸辊通常为传动点，并要求这个传动点做好纸幅张力控制，以防纸页断头或出现褶皱。

2.2 造纸工艺流程

造纸的原料主要有两种：一种是含纤维的植物，还有一种就是现在比较环保的废纸在回收。第一种原料造纸比较复杂一点，先要切碎，在加高浓度碱水进行高温蒸煮，还要经过 CX 筛、高频震动筛、洗浆机、压滤机等机械去除原浆中含有的碱水，然后进行漂白。漂白后经洗涤加水配成 0.03% 的浆液就可以造纸了。第二种就简单一点了，将废纸、工业双氧水、脱墨剂、碱、水按一定比例配好，用水力碎浆机打一定的时间；最后用跳筛筛去杂质就可以造纸了。不管用什么方法造纸，原理都是一样，就是把造纸原料的纤维打碎，再经高温重新结合。

造纸的工艺流程由如下几个主要环节组成

制浆段：原料选择→蒸煮分离纤维→洗涤→漂白→洗涤筛选→浓缩或抄成浆片→储存备用

抄纸段：散浆→除杂质→精浆→打浆→配制各种添加剂→纸料的混合→纸料的流送→头箱→网部→压榨部→干燥部→表面施胶→干燥→压光→卷取成纸

涂布段：涂布原纸→涂布机涂布→干燥→卷取→再卷→超级压光

加工段：复卷→裁切平板（或卷筒）→分选包装→入库结束

造纸机部分工艺流程如图 2.2 所示。

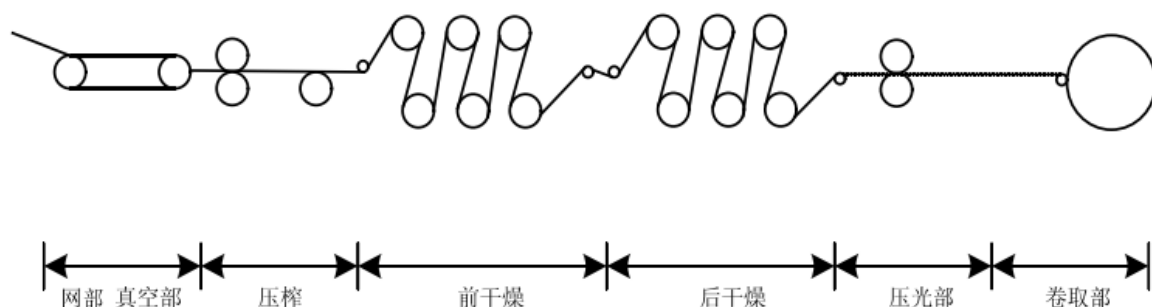


图 2.2 造纸工艺部分流程图

2.3 本章小结

本章主要介绍了造纸机整体的机械结构以及各分部的电气传动点，简要的介绍了造纸的工艺流程，这为造纸机电气传动系统的控制策略和参数分析提供了良好的支持。

3 造纸机电气传动控制策略分析

3.1 造纸机电气传动概述

造纸机电气传动往往包含两种基本传动方式：总轴传动和分部传动。总轴传动也叫单机传动，它的动力源仅仅来源于某个主变频电动机，这种传动方式往往被使用在工作速度比较低的小型造纸机传动控制系统中。分部传动也叫多电机传动，它的动力源往往来自于多个主变频电动机，这种传动方式经常被用在工作车速较高的造纸机传动控制系统中。

分部传动的控制方式不仅操作方便运行安全可靠，还能让造纸机各分部的速比关系保持不变，这种传动方式还可以做传动系统的结构优化工作，从而使速度调节范围扩大且速度调节效果更好，这种传动系统节约电能，操作更加简便，满足了本设计的大型高速造纸机电气传动控制系统的传动方式。

3.1.1 造纸机电气传动控制系统的基本要求

造纸机电气传动控制系统是造纸机控制系统的重要组成部分，对抄纸的稳定性、纸张的质量有着非常重要的影响。为了可以生产出品质较高的纸品，在造纸工业中，对造纸机电气传动控制系统提出了如下基本要求：

- （1）整机实际工作速度的有效调节
- （2）保证实际工作车速的恒定
- （3）各分部良好的动态调整
- （4）维持分部间定速比关系的恒定不变
- （5）稳定的爬行速度

3.1.2 造纸机传动功率计算

在造纸机电气传动系统中，传动装置所产生的传动功率主要用于抵消摩擦损耗，所以造纸机的实际传动功率主要由造纸机的实际工作车速以及相关实时参数所决定。把造纸机电气传动系统中所有的传动部件做在线实时监测其实际功率的损耗，并用 1m 净纸幅宽与 1m/min 工作车速来表示造纸机电气传动系统的必需功率。即：

$$P = Kbv$$

(3. 1)

式中：

K —造纸机一个单位功率损耗的衡量因子

b —造纸机实时幅门宽度

v —造纸机实际工作车速

3. 1. 3 造纸机生产能力计算

为了精确的表示造纸机的实际生产效率，造纸工业常用造纸机每小时的产量来衡量，即：

$$G=0.06bvq$$

(3. 2)

式中：

b —卷纸机未切边的实际纸宽

v —造纸机工作车速

q —纸页的实际定量

3. 2 造纸机电气传动系统控制策略分析

造纸机的电气传动系统控制策略分析是造纸机自动化设计的一个非常关键的环节，随着造纸业科技的不断发展，一些发达国家的造纸机（特别是高速造纸机）电气传动控制系统已经向高精度、高速度、全智能化方向发展，而国内造纸机电气传动系统对抄纸过程主要还是通过手工操作及一般 PLC 程序进行自动控制，而此控制方式完全保障不了纸页质量的一致性及抄纸生产的连续性，这主要是造纸机电气传动系统控制策略设计不完善引起的。

本文鉴于国内造纸机电气传动系统当前发展特点以及国外造纸机电气传动系统的有利优势，进行国产高速造纸机电气传动系统控制策略的设计，以提高我国高速造纸机连续抄纸水平、产品质量水准。

3.2.1 速度链控制

在造纸机分部传动控制中，根据对抄纸工艺的基本要求，分部间各临近传动点纸幅线速度要有保持不变的比例关系，且在操作员控制工作车速的情况下，仅改变当前级及当前级后面的速度状态而不改变其前面的速度状态，即每一传动点速度以前一级速度为参考的情况下修正，这样就产生了一个链式的速度控制结构，这个链式结构就是速度链。

如图 3.1 所示，本文对变频电机 0、1、2、3、4，采用主链包含子链的控制结构形式，把要做负荷分配的传动点变频电机 2、3 的速度控制接入速度链的子链上，这样传动点变频电机 2、3 速度值做负荷分配修正的情况下不影响其他传动点变频电机 0、1、4 的速度状态。

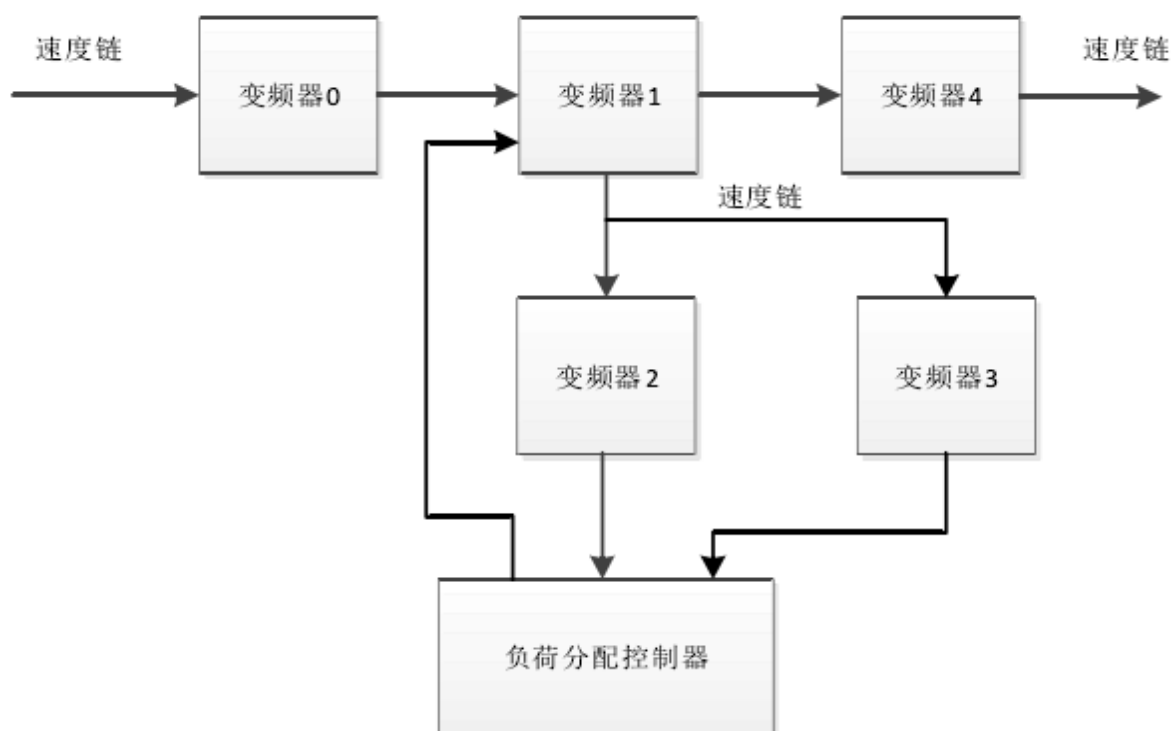


图 3.1 速度链控制原理结构

3.2.2 负荷分配控制

造纸机的成形部（网部）、压榨部以及压光部是刚性或柔性连接的传动分部间，它们的负载由两台或多台电动机一起承担，造纸工艺控制要求造纸机所有负荷分配的辊子纸幅线速度及相互速比关系可修正的同时，负荷承担分配率相同的情况下还必须保证速度一致。

如图3.2所示，需要负荷分配控制的纸辊电机 M1、M2、M3、M4、M5、M6，本造纸机电气传动控制系统使用转矩 PID 控制算法控制其负载波动，并集成现场通讯总线 PROFIBU 通讯控制技术，即 PLC 控制器采集要分配的主、从传动点电动机的实际输出转矩并做程序化的精确运算，再通过 PROFIBUS 通讯技术来控制变频器的相关参数，这样做到不断升高或降低所有负荷分配电动机的转差率，从而使从传动点电动机转矩值的百分比与主传动点电动机转矩值的百分比保持一致。

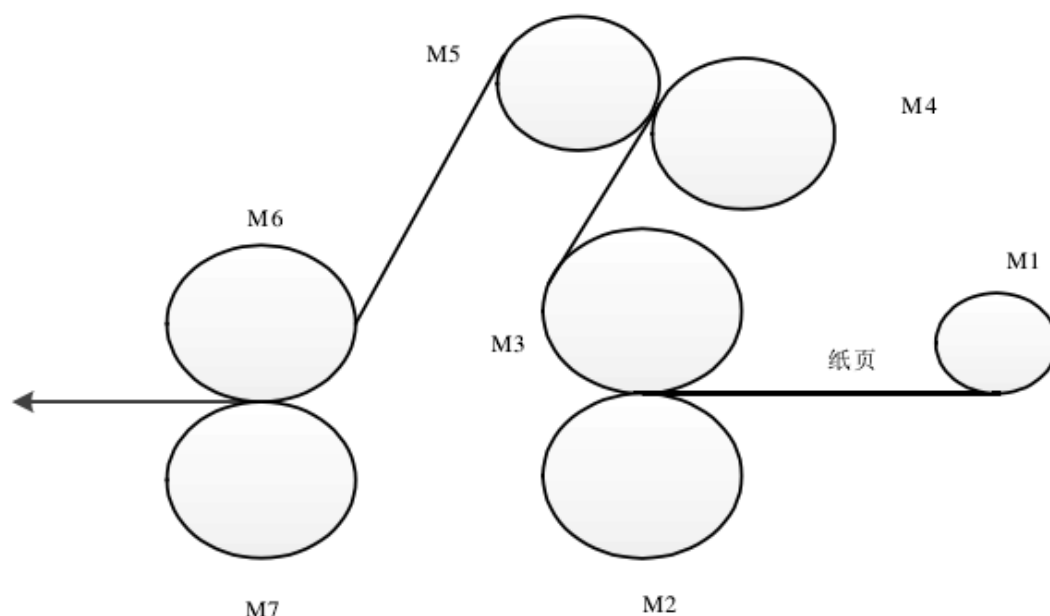


图 3.2 负荷分配原理示意图

3.2.3 纸幅张力控制

在造纸机的施胶部、压光部和卷纸部，纸页质量与该分部间实时张力值息息相关。由抄纸工艺要求可知，需要通过造纸机电气传动系统的程序化控制策略控制相关电机转速来获取恰当的纸页张力，否则，纸辊电机转速波动就会使纸页绷得特松或特紧，具体

表现为：张力过弱，纸页则窜动而使纸页褶皱；张力过强，纸页则绷紧而使纸页断头。

其 控 制 原 理 如 图 3.3 所 示 。

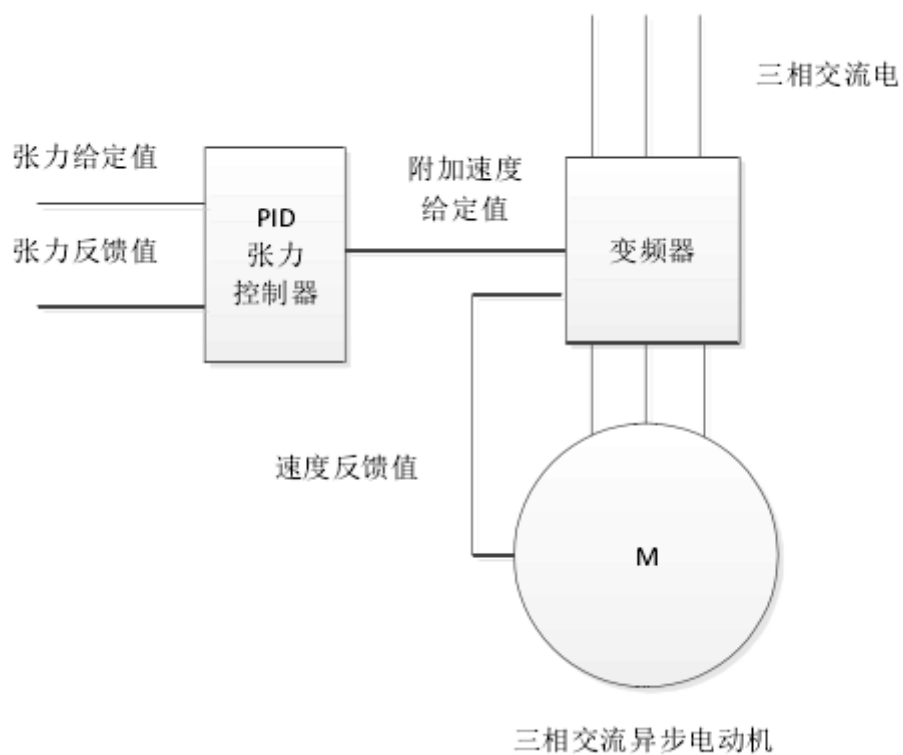
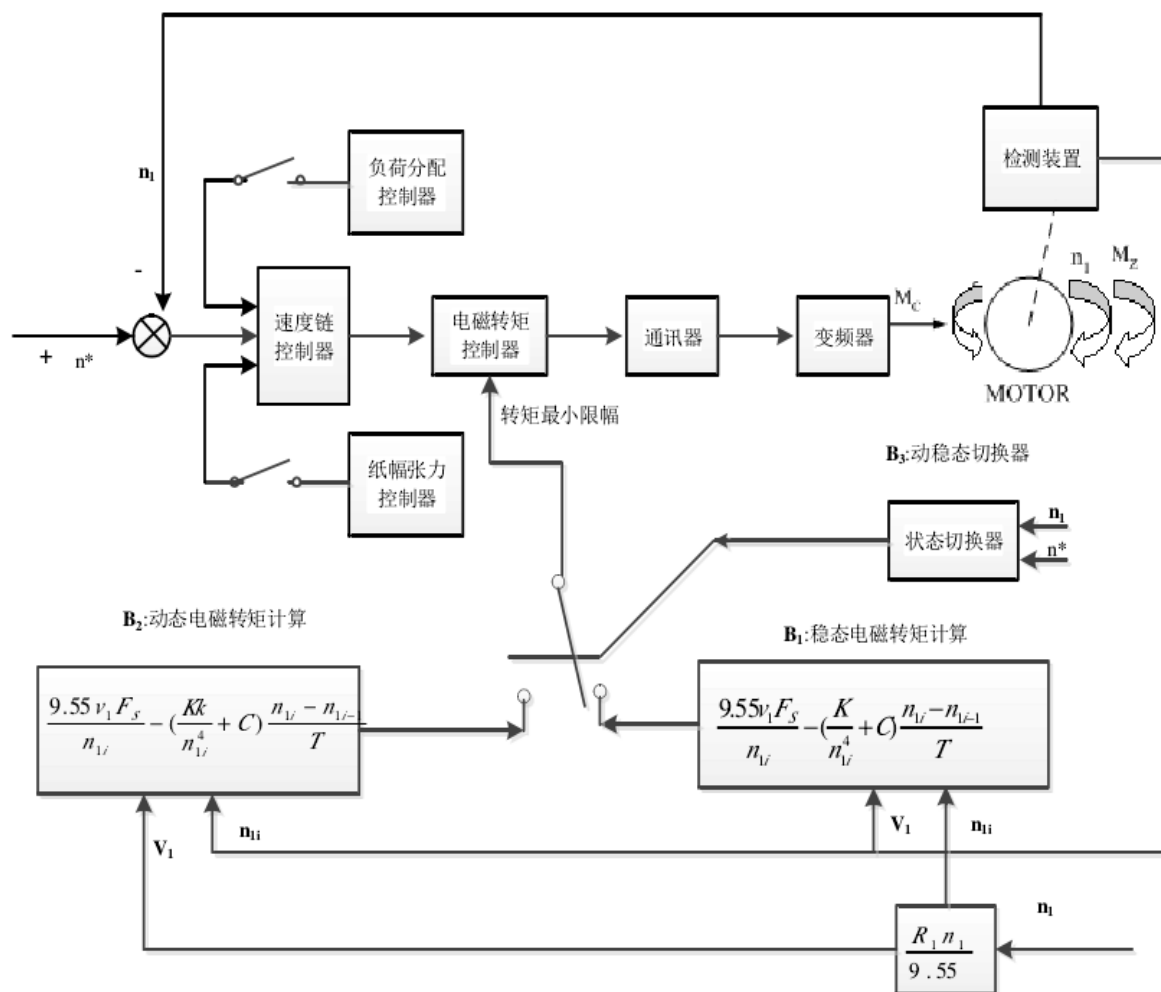


图 3.3 张力控制原理

3.3 造纸机电气传动控制工作原理图

以上已经对造纸机电气传动系统速度控制、负荷分配控制及张力控制的控制策略做了比较具体的分析，从而设计了此造纸机电气传动控制方案。如图 3.4 所示。



说明:

n^* ——纸辊电机给定转速;

R_2 ——纸辊半径;

K —— $1367.84\rho bV_2^4i_1^2$;

C —— $\frac{j_0}{9.55i_1^2} - \frac{\partial bR_0^4}{6.08i_1^2}$;

T ——PLC 采样周期;

n_{1i} ——转速 n_1 的第 i 次采样值, 光电编码器可测出, $i=1, 2, 3, \dots, N$; N 指自然数;

k ——前馈量修正系数;

B_1 ——系统稳态电磁转矩计算公式, 其数值由 PLC 程序完成;

B_2 ——系统动态电磁转矩计算公式, 比 B_1 模块增加前馈量修正系数 k 其数值由 PLC 程序完成;

B_3 ——动/稳态切换模块, 其数值由 PLC 程序完成;

图 3.4 造纸机电气传动控制方案

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/038121024017006074>